

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

**Electric supply circuit for an electric drive system**

Patent Number: ☐ EP0952030, A3

Publication date: 1999-10-27

Inventor(s): GLINKA MARTIN (DE); BRAUER MICHAEL (DE); FETTER WOLFGANG (DE); LASKA BERND DR (DE); GUMBRECHT STEFAN (DE)

Applicant(s): SIEMENS AG (DE)

Requested Patent: ☐ DE19817752

Application Number: EP19990107585 19990415

Priority Number (s): DE19981017752 19980421

IPC Classification: B60L9/28

EC Classification: B60L9/28

Equivalents:

**Abstract**

The system has a number of drive groups (18), each contains at least one drive motor (M) and an input converter group (12), connected in series to a supply network (UN). Each input converter group is associated with at least one transformer group (14) which supplies the group's drive motors from the secondary sides via a drive converter. Each input converter group is also associated with at least one compensation circuit (20) which manages a uniform load distribution at the input converter groups by connecting the inputs of the drive converter together electrically. Preferably, the compensation circuit provides an actuator for each drive converter coupled to the compensation circuit at the input side. The actuators feed parallelly on a secondary DC intermediate circuit (34).

Data supplied from the esp@cenet database - I2

*Series  
connected*



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 198 17 752 A 1

61 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
B 60 L 9/00  
B 60 L 9/28

21 Aktenzeichen: 198 17 752.6  
22 Anmeldetag: 21. 4. 98  
43 Offenlegungstag: 28. 10. 99

DE 198 17 752 A 1

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:  
Laska, Bernd, Dr.-Ing., 91074 Herzogenaurach, DE;  
Brauer, Michael, Dipl.-Ing., 91056 Erlangen, DE;  
Fetter, Wolfgang, Dipl.-Ing., 91052 Erlangen, DE;  
Glinka, Martin, 91054 Erlangen, DE; Gumbrecht,  
Stefan, 91074 Herzogenaurach, DE

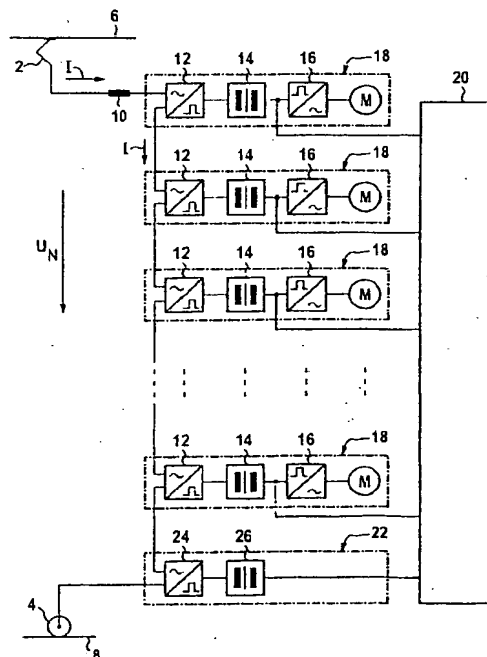
56 Entgegenhaltungen:  
DE 196 30 284 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Elektrische Schaltungsanordnung zum Versorgen eines elektrischen Antriebssystems

57 Eine elektrische Schaltungsanordnung zum Versorgen eines elektrischen Antriebssystems, insbesondere eines elektrischen Antriebssystems eines schienengebundenen Triebfahrzeugs, umfaßt eine Mehrzahl von Antriebsgruppen (18), die zumindest einen Antriebsmotor (M) und eine Eingangsumrichtergruppe (12) enthalten und elektrisch in Reihe zueinander an ein Versorgungsnetz ( $U_N$ ) angeschlossen sind. Jeder Eingangsumrichtergruppe (12) ist zumindest eine Transformatorgruppe (14) zugeordnet, die mit ihrer Sekundärseite über einen Antriebsumrichter den Antriebsmotor (M) der Antriebsgruppe (18) speist. Zum Herbeiführen einer gleichmäßigen Spannungsaufteilung auf die Eingangsumrichtergruppen (12) ist gemäß der Erfindung eine Ausgleichsschaltung (20) vorgesehen, welche die Eingangsseiten der Antriebsumrichter elektrisch miteinander verknüpft. Dadurch ist in allen Betriebssituationen eine gleichmäßige Belastung der Eingangsumrichtergruppen (12) gewährleistet.



DE 198 17 752 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine elektrische Schaltungsanordnung zum Versorgen eines elektrischen Antriebssystems, insbesondere eines elektrischen Antriebssystems eines schienengebundenen Triebfahrzeugs, das eine Mehrzahl von Antriebsgruppen umfaßt, die jeweils mindestens einen Antriebsmotor enthalten.

Bei der Entwicklung von Triebfahrzeugen für den spurgeführten Hochgeschwindigkeitsverkehr ist eines der Entwicklungsziele, die Gewichte aller Komponenten zu verringern. Eine nicht unwesentliche Gewichtskomponente stellen die im Stand der Technik für das Antriebssystem zur Potentialtrennung erforderlichen Hochspannungstransformatoren dar. Bei dem beispielsweise aus der Zeitschrift "ZEV + DET Glaser's Annalen 119", Nr. 9/10, 1995, Seite 425-435, bekannten elektrischen Antriebssystem wird ein Transformator unmittelbar über einen Stromabnehmer mit der Fahrdrachtspannung versorgt. Bei der Fahrdrachtspannung handelt es sich um eine niederfrequente Hochspannung von 15 kV mit einer Frequenz von 16 2/3 Hz. Zwei sekundärseitige Traktionswicklungen pro Drehgestell stellen die Eingangsspannung für zwei Eingangsstrom- oder Eingangsumrichter zur Verfügung, die als Vierquadrantensteller (4 QS) ausgeführt sind, um im Bremsbetrieb die von den Fahrmotoren generatorisch erzeugte Energie in das Fahrleitungsnetz zurückspeisen zu können. Zwei voneinander unabhängige Pulswechselrichter speisen aus einem Zwischenkreis je einen Fahrmotor mit variabler Spannung und Frequenz. Problematisch an dieser Schaltungsanordnung ist in erster Linie das hohe Gewicht und der schlechte Wirkungsgrad des Hochspannungstransformators. In der Praxis wird daher versucht, das Gewicht des Hochspannungstransformators so klein wie möglich zu machen. Damit geht aber eine Verschlechterung seines Wirkungsgrades einher, so daß stets eine unbefriedigende Optimierung zwischen Gewicht und Wirkungsgrad stattfinden muß.

Dieses Problem ist beispielsweise aus "ZEV + DET Glaser's Annalen 121", Nr. 2/3, 1997, Seite 64-80, im Zusammenhang mit der Bordnetzversorgung eines schienengebundenen Fahrzeuges bekannt. Dort ist auf Seite 5 in Bild 5 ein Energieversorgungsblock für die Hilfsbetriebe beim ICE 2 dargestellt, bei der anstelle des in der Vorgängerversion (ICE 1) zur Potentialtrennung zwischen der 1000 V-Zugsammelschiene und den Hilfsbetrieben verwendeten 16 2/3 Hz-Transformators eine Mehrzahl von in Reihe geschalteten Umrichtermodulen verwendet werden, die direkt an die 1000 V-Zugsammelschiene angeschlossen sind. In diesen Umrichtermodulen wird eine Frequenz von 20 kHz erzeugt, die dem am Ausgang zur Potentialtrennung angeordneten Transformator zugeführt wird. Vier ausgangsseitig parallel geschaltete Transformatoren speisen dann jeweils über einen Gleichrichter ein 600 V-Gleichspannungsnetz. Dadurch ist eine gleichmäßige Belastung aller Umrichterstufen gewährleistet. Durch diese Maßnahme konnte die Masse des Transformators von 713 kg auf 4 x 19 kg gesenkt werden.

Dieses bekannte Konzept läßt sich jedoch nicht auf Verbraucher übertragen, die unabhängig, d. h. elektrisch entkoppelt voneinander betrieben werden müssen, wie dies beispielsweise bei den zu verschiedenen Achsen gehörenden Antriebsmotoren der Fall ist. Der Leistungsbedarf der pro Achse vorhandenen Antriebsmotoren hängt beispielsweise vom Zustand des Schienenbereichs ab, auf dem sich die Räder der jeweiligen Achse gerade befinden. Je nach Zustand des Systems Rad/Schiene kann auch im normalen Fahrbetrieb der Leistungsbedarf der zu verschiedenen Achsen gehörenden Antriebsmotoren erhebliche und zeitlich variie-

rende Unterschiede aufweisen, die im Extremfall zwischen Vollast und Leerlauf liegen können. Um zu verhindern, daß diese Belastungsänderungen direkt an den Eingangskreis weitergegeben werden, wäre somit beim bekannten Konzept der Einsatz von Energiespeichern auf der Sekundärseite des Hochfrequenztransformators erforderlich. Dadurch wäre aber die bei den Transformatoren erzielte Gewichtersparnis zumindest zum Teil zunichte gemacht.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, eine elektrische Schaltungsanordnung zum Versorgen eines elektrischen Antriebssystems, insbesondere eines elektrischen Antriebssystems eines schienengebundenen Triebfahrzeugs, anzugeben, die hinsichtlich ihres Wirkungsgrades und ihres Gewichts gegenüber den bekannten Schaltungsanordnungen verbessert ist.

Die genannte Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit einer elektrischen Schaltungsanordnung mit den Merkmalen des Patentanspruches 1. Die elektrische Schaltungsanordnung zum Versorgen eines elektrischen Antriebssystems, insbesondere eines elektrischen Antriebssystems eines schienengebundenen Triebfahrzeugs, umfaßt eine Mehrzahl von Antriebsgruppen, von denen jede zumindest einen Antriebsmotor und eine Eingangsumrichtergruppe enthält. Die Eingangsumrichtergruppen sind elektrisch in Reihe zueinander an ein Versorgungsnetz angeschlossen. Jeder Eingangsumrichtergruppe ist eine Transformatorgruppe zugeordnet, die mit ihrer Sekundärseite über einen Antriebsumrichter den Antriebsmotor der Antriebsgruppe speist, wobei eine Ausgleichsschaltung vorgesehen ist, die zum Herbeiführen einer gleichmäßigen Lastaufteilung auf die Eingangsumrichtergruppen die Antriebsumrichter eingangsseitig elektrisch miteinander verknüpft.

Durch die Anordnung der zur Potentialtrennung erforderlichen Transformatoren am Ausgang der Eingangsumrichtergruppen, können die Transformatoren mit einer Frequenz betrieben werden, die deutlich oberhalb der Netzfrequenz liegt und vorzugsweise zwischen 400 Hz und 1 kHz (Mittelfrequenzbereich) beträgt. Dies ermöglicht die Verwendung von Transformatoren mit niedrigem Gewicht, kleinem Volumen und besserem Wirkungsgrad.

Da alle an den Eingängen der Antriebsumrichter anliegenden Wechselspannungen über die Ausgleichsschaltung miteinander verschaltet sind, kann die Leistung zwischen unterschiedlichen Antriebsgruppen beliebig ausgetauscht werden. Dies ermöglicht eine in allen Belastungsfällen weitgehend gleichmäßige oder symmetrische Leistungsaufteilung auf alle Eingangsumrichtergruppen und damit auch eine symmetrische Spannungsaufteilung am Eingang der Eingangsumrichtergruppen. Dadurch ist sichergestellt, daß die an den Eingangsumrichtergruppen zulässige maximale Eingangsspannung auch bei Leistungsausfall eines Antriebsumrichters oder eines Antriebsmotors nicht überschritten wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Ausgleichsschaltung für jeden eingangsseitig an sie angeschlossenen Antriebsumrichter ein Stellglied, wobei die Stellglieder der Ausgleichsschaltung ausgangsseitig parallel zueinander geschaltet sind und einen gemeinsamen sekundären Gleichspannungszwischenkreis speisen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist als Antriebsumrichter eine Direktumrichterschaltung, d. h. eine Umrichterschaltung ohne einen Energiepeicher enthaltenden Zwischenkreis, vorgesehen. Dies ist möglich, da durch die Ausgleichsschaltung stets eine weitgehend symmetrische Leistungsaufteilung auf die Eingangsumrichtergruppen auch ohne einen solchen Energiepeicher gewährleistet ist.

Insbesondere umfaßt jede Eingangsumrichtergruppe zu-

mindest einen Eingangsumrichter, der einen Eingangsgleichrichter enthält, der über einen primären Gleichspannungszwischenkreis einen Wechselrichter speist, an dessen Ausgang eine rechteckförmige Wechselspannung erzeugt wird, deren Blockbreite und Periodendauer steuerbar ist. Durch Steuerung der Blockbreite kann die übertragene Blindleistung verringert werden.

Vorzugsweise sind als Eingangsgleichrichter und Wechselrichter jeweils Vierquadrantensteller in Zwei- oder Dreipunktschaltung mit abschaltbaren Halbleiterventilen vorgesehen.

Insbesondere ist in jeden primären Gleichspannungszwischenkreis zur Glättung der vom Netz eingespeisten pulsierenden Leistung ein Saugkreis geschaltet.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfaßt jede Eingangsumrichtergruppe eine Mehrzahl von eingangsseitig in Reihe geschalteten Eingangsumrichtern, die jeweils ausgangsseitig elektrisch entkoppelt an die Primärseite einer Transformatorgruppe angeschlossen sind. Dadurch wird die von einer Eingangsumrichtergruppe maximal aufnehmbare Eingangsspannung vergrößert. Diese maximal aufnehmbare Eingangsspannung richtet sich nach der Sperrfähigkeit der einzelnen Halbleiterventile und damit nach der maximal möglichen Spannung im primären Gleichspannungszwischenkreis.

Die Transformatorgruppe enthält in einer vorteilhaften Ausführungsform eine der Anzahl der Eingangsumrichter entsprechende Anzahl von Transformatoren, insbesondere Zweiwicklungstransformatoren, die sekundärseitig parallel geschaltet sind. Dies ermöglicht ein modulares Aufbaukonzept mit entsprechenden Vorteilen in der Konstruktion, Fertigung und Wartung.

In einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Transformatorgruppe einen Mehrwicklungstransformator mit geteilten Sekundärwicklungen. Dies ermöglicht eine weitere Verringerung des Gewichts der Transformatorgruppe.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfaßt der Antriebsumrichter für jede Phase einen in Mittelpunktschaltung aufgebauten Direktumrichterzweig, wobei insbesondere dem Direktumrichterzweig jeder Phase eine Mittelanzapfung einer Sekundärwicklung der Transformatorgruppe zugeordnet ist, die untereinander in Stern geschaltet sind. Dadurch ist gewährleistet, daß die motorfrequente Blindleistung des Antriebsmotors über den magnetischen Fluß des Transformators ausgeglichen und somit nicht in den primären Gleichspannungszwischenkreis des Eingangsumrichters übertragen wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform sind die Direktumrichter jeder Phase eingangsseitig parallel geschaltet. Auch durch diese Maßnahme ist gewährleistet, daß die Motorblindleistung ausgeglichen wird. Außerdem wird durch die Parallelschaltung der Sekundärseite der Transformatoren erreicht, daß sich die Last weitestgehend gleichmäßig auf die Eingangsumrichter aufteilt, d. h. eine symmetrische Leistungs- und Spannungsaufteilung auf die einzelnen Eingangsumrichter erfolgt.

Insbesondere ist in der Ausgleichsschaltung als Stellglied ein Vierquadrantensteller, vorzugsweise eine Zwei- oder Dreipunktschaltung, oder eine antiparallele Brückenschaltung oder eine Mittelpunktschaltung vorgesehen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist im sekundären Gleichspannungszwischenkreis der Ausgleichsschaltung ein Saugkreis angeordnet. In einem solchen Fall können die Saugkreise in den Eingangsumrichtern entfallen.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist an den sekundären Gleichspannungszwischenkreis der Ausgleichs-

schaltung ein zusätzlicher Eingangsumrichter einer Redundanzschaltung angeschlossen. Dadurch kann ohne großen Schaltungsaufwand der Ausfall eines Eingangsumrichters kompensiert werden.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Ausführungsbeispiele der Zeichnungen verwiesen, in deren

Fig. 1 eine Schaltungsanordnung gemäß der Erfindung in einem Blockschaltbild schematisch veranschaulicht ist. In

Fig. 2 ist das der Erfindung zugrundeliegende Schaltungsprinzip anhand von zwei in Reihe geschalteten Eingangsumrichtergruppen mit Redundanzschaltung näher dargestellt.

Fig. 3, 4 zeigen bevorzugte Ausführungsbeispiele für die in der Eingangsumrichtergruppe verwendeten Eingangsgleichrichter.

Fig. 5, 6 zeigen bevorzugte Ausführungsbeispiele für die in der Eingangsumrichtergruppe verwendeten Wechselrichter.

Fig. 7-10 zeigen vorteilhafte Ausführungsbeispiele für die in der Ausgleichsschaltung verwendeten Stellglieder.

Fig. 11, 12 zeigen jeweils ein Ausführungsbeispiel für eine lastseitig verwendeten Antriebsumrichter und in

Fig. 13 ist anhand eines Diagramms, in dem die primärseitige Eingangsspannung am Transformator gegen die Zeit aufgetragen ist, die Steuerung der sekundärseitigen Eingangsspannung für den Antriebsumrichter veranschaulicht.

Gemäß Fig. 1 wird die Schaltungsanordnung über einen Stromabnehmer 2 und einen Radsatz 4 zwischen einer Hochspannung  $U_N$  führenden Fahrdradt 6 und einer Fahrachse 8 geschaltet. In Reihe mit einer Netzdrossel 10 und in Reihe zueinander sind eine Mehrzahl von Eingangsumrichtergruppen 12 geschaltet, die jeweils ausgangsseitig an die Primärseiten einer Transformatorgruppe 14 angeschlossen sind. Mit Hilfe der Eingangsumrichtergruppe 12 wird die niederfrequente Hochspannung  $U_N$  in eine mittelfrequente rechteckimpulsförmige bzw. blockförmige Wechselspannung  $U_1$  umgewandelt.

Jede Transformatorgruppe 14 speist über einen Antriebsumrichter, vorzugsweise eine Direktumrichterschaltung 16, zumindest einen Antriebsmotor M. Eingangsumrichtergruppe 12, Transformatorgruppe 14, Direktumrichterschaltung 16 und Antriebsmotor M bilden dabei jeweils eine Antriebsgruppe 18.

Die Sekundärseiten der Transformatorgruppen 14 sind an eine gemeinsame Ausgleichsschaltung 20 angeschlossen. Durch geeignete Steuerung der Ausgleichsschaltung 20 kann die von den Transformatorgruppen 14 jeweils übertragene Leistung unabhängig vom aktuellen Leistungsbedarf der Antriebsmotoren M so beeinflußt werden, daß diese für alle Antriebsgruppen 18 annähernd gleich ist. Damit ergibt sich eine gleichmäßige Aufteilung der Hochspannung  $U_N$  auf die in Reihe geschalteten Eingangsumrichtergruppen 12.

In der Figur sind nur vier Eingangsumrichtergruppen 12 dargestellt, deren tatsächliche Zahl sich nach der Anzahl der unabhängig zu speisenden Antriebsmotoren M richtet. Jede Eingangsumrichtergruppe 12 kann nun ihrerseits wiederum aus mehreren in Reihe geschalteten Eingangsumrichtern aufgebaut sein. Die Zahl der Eingangsumrichter richtet sich nach der Hochspannung  $U_N$ , so daß mit den derzeit verfügbaren Leistungshalbleitern mit einer Sperrfähigkeit von etwa 3,5 kV bei einer Hochspannung  $U_N$  von 15 kV etwa 16 in Reihe geschaltete Eingangsumrichter in Zweipunkttechnik erforderlich sind, die sich auf eine der Anzahl der Antriebsgruppen 18 entsprechende Anzahl von Eingangsumrichtergruppen 12 aufteilen.

An die Ausgleichsschaltung 20 ist außerdem eine Redundanzschaltung 22 angeschlossen, die einen Eingangsumrichter 24 umfaßt, der ebenfalls in Reihe zu den Eingangs-

umrichtergruppen 12 zwischen die Fahrachse 8 und den Fahrdraht 6 geschaltet ist. Der Eingangsumrichter 24 dieser Redundanzschaltung 22 ist über einen Transformator 26 an die Ausgleichsschaltung 20 angeschlossen. Dem Eingangsumrichter 24 der Redundanzschaltung 22 ist kein Antriebsmotor unmittelbar zugeordnet, so daß dieser als Ersatz bei Ausfall einer der Eingangsumrichtergruppen 12 oder eines in diesen enthaltenen Eingangsumrichters über die Ausgleichsschaltung 20 zur Steuerung des vom Ausfall betroffenen Antriebsmotors M eingesetzt werden kann.

Mit der an die Ausgleichsschaltung 20 angeschlossenen Redundanzschaltung 22 können somit vollständig oder teilweise ausgefallene Eingangsumrichtergruppen 12 ersetzt werden. Dabei speist die Redundanzschaltung 22 die ausgefallene Eingangsumrichterleistung über die Ausgleichsschaltung 20 in die entsprechende Antriebsgruppe 18 ein.

Im Normalbetrieb muß die Redundanzschaltung 22 nicht in Betrieb sein. Ihr Eingangsumrichter 24 kann in diesem Fall netzseitig kurzgeschlossen und ausgangssseitig von der Ausgleichsschaltung 20 getrennt werden.

Anstelle einer einzigen Redundanzschaltung 22 können auch mehrere Redundanzschaltungen 22 vorgesehen sein, um die Verfügbarkeit des Antriebs auch bei Ausfall mehrerer Eingangsumrichtergruppen 12 sicherzustellen.

Gemäß Fig. 2 wird die Schaltungsanordnung anhand von zwei Eingangsumrichtergruppen 12, die jeweils über eine Transformatorgruppe 14 und eine Direktumrichtergruppe 16 einen Antriebsmotor M speisen, näher erläutert. Jede Eingangsumrichtergruppe 12 umfaßt zwei Eingangsumrichter 12a und 12b, die jeweils ausgangssseitig an die Primärwicklung 146a, 146b eines Transformators 14a bzw. 14b angeschlossen sind. Die Transformatorgruppe 14 enthält in diesem Ausführungsbeispiel somit zwei Transformatoren 14a, b (Zweiwicklungs-Transformatoren).

Die jeweils zugehörigen Sekundärwicklungen 142a und 142b sind parallel geschaltet und an den Eingang der Direktumrichterschaltung 16 angeschlossen. Die Direktumrichterschaltung 16 erzeugt ohne Energiezwischenpeicher aus einer Einphasenwechselspannung mit hoher Frequenz ein niederfrequentes Drehstromsystem mit variabler Frequenz und Grundschriftungsamplitude. Anstelle der in der Figur dargestellten zwei Eingangsumrichter 12a, 12b je Eingangsumrichtergruppe 12 können auch ein oder mehr als zwei Eingangsumrichter vorgesehen sein, wobei dann jedem Eingangsumrichter ein Zweiwicklungstransformator zugeordnet ist.

Jeder Eingangsumrichter 12a und 12b enthält einen als Vierquadrantensteller ausgeführten Eingangsgleichrichter 28, der über einen primären Gleichspannungszwischenkreis 29 und einen Wechselrichter 30 mit dem Primärwicklungssystem 146a bzw. 146b des Transformators 14a bzw. 14b verbunden ist.

Jeder primäre Gleichspannungszwischenkreis 29 umfaßt einen Saugkreis 31, der zur Glättung der vom Eingangsgleichrichter 28 bereitgestellten pulsierenden Leistung und der damit verbundenen Spannungswelligkeit dient.

Sowohl bei dem Eingangsgleichrichter 28 als auch bei dem Wechselrichter 30 handelt es sich um Vierquadrantensteller, um auch beim Bremsen eine Rückspeisung der Leistung der Antriebsmotoren zu ermöglichen.

In der Ausgleichsschaltung 20 ist der Eingang einer jeden Direktumrichterschaltung 16 über ein steuerbares Stellglied 32 mit einem sekundären Gleichspannungszwischenkreis 34 gekoppelt. Jeder Direktumrichterschaltung 16 ist ein Stellglied 32 zugeordnet, wobei jedes Stellglied 32 ausgangssseitig über ein Filterelement 33, im Ausführungsbeispiel eine Drossel, den sekundären Gleichspannungszwischenkreis 34 speist.

Durch die steuerbaren Stellglieder 32 kann erreicht werden, daß die Eingangsspannungen  $U_A$  der Direktumrichterschaltungen 16 unabhängig vom unterschiedlichen Leistungsbedarf der Antriebsmotoren M annähernd gleich sind.

Da der durch die Eingangsumrichter 12a, 12b und 24 fließende Strom I gleich ist, kann die von den Eingangsumrichtern 12a, 12b übertragene Leistung nur durch die Eingangsspannung  $U_E$  an den Eingangsumrichtern 12a, 12b gestellt werden. Um eine Leistungssymmetrierung für alle Eingangsumrichter 12a, 12b zu erreichen, wird deshalb über die Stellglieder 32 der Ausgleichsschaltung 20 die Phasenlage und die Amplitude des sekundärseitig fließenden Stromes  $I_A$  so gesteuert, daß die Transformatorgruppen 14 aller Antriebsgruppen 18 annähernd die gleiche Leistung übertragen. Dadurch ist sichergestellt, daß die gesamte Netzspannung  $U_N$  gleichmäßig auf alle Eingangsumrichter 12a, 12b aufgeteilt wird.

Ohne das Vorhandensein der Ausgleichsschaltung 20 würde beispielsweise der Leerlauf eines der beiden Antriebsmotoren M bewirken, daß nahezu die gesamte Netzspannung  $U_N$  an den Eingangsumrichtern 12a, 12b einer einzigen Eingangsumrichtergruppe 12 anfallen würde. Dies hätte zur Folge, daß entweder die Eingangsumrichter 12a, 12b entsprechend dimensioniert werden müssen oder aber die Anzahl der Eingangsumrichter entsprechend erhöht werden muß, um solche unsymmetrischen Belastungen verarbeiten zu können. Für ein übliches Netz mit einer Netzspannung von 15 kV und einer Frequenz von 16 2/3 Hz sind beispielsweise beim derzeitigen Stand der Technik etwa 16 Eingangsumrichter 12a, 12b in Zweipunkttechnik mit einer Halbleitersperrfähigkeit von 3,5 kV erforderlich. Durch die von der Ausgleichsschaltung 20 herbeigeführte Leistungssymmetrierung, d. h. die gleichmäßige Leistungsaufnahme aller Eingangsumrichter 12a, 12b der Eingangsumrichtergruppen 12 ist es somit nicht erforderlich, die Eingangsumrichtergruppen 12 für die Beherrschung extrem unterschiedlicher Belastungen der Antriebsgruppen 18 hinsichtlich der Zahl der Eingangsumrichter überzudimensionieren.

Der Eingangsumrichter 24 der Redundanzschaltung 22 ist im Normalfall so geschaltet, daß die an ihm abfallende Eingangsspannung gleich Null ist und er erst bei Ausfall einer der Eingangsumrichter 12a oder 12b in Betrieb genommen wird. Durch die Redundanzschaltung 22 kann aber auch die maximal mögliche Netzspannung  $U_N$  erhöht werden, wobei die von der Redundanzschaltung 22 übertragene Leistung beliebig auf die Antriebsgruppen 18 aufgeteilt werden kann.

Die Gleichspannung im sekundären Gleichspannungszwischenkreis 34 kann mit Hilfe der Stellglieder 32 variabel eingestellt werden. Dadurch ist auch eine mehrfach redundante Spannungsversorgung der Hilfsbetriebsrichtungen möglich, die bezogen auf Erdpotential außerdem bereits auf wesentlich niedrigerem Potential als die Netzspannung  $U_N$  liegt.

In einer alternativen Ausführungsform kann auch das in der Ausgleichsschaltung 20 der Redundanzschaltung 22 zugeordnete Stellglied 32 entfallen und dessen Funktion von einem der den Antriebsgruppen 18 zugeordneten Stellglieder 32 übernommen werden, wie dies in der Figur gestrichelt eingezeichnet ist.

In einer weiteren alternativen Ausgestaltung können die jeweils in die primären Gleichspannungszwischenkreise 29 geschalteten Saugkreise 31 entfallen, wenn anstelle dieser Saugkreise 31 ein einziger Saugkreis 35 im sekundären Gleichspannungszwischenkreis 34 angeordnet wird, wie dies in der Figur ebenfalls gestrichelt eingezeichnet ist.

Gemäß Fig. 3 ist als Eingangsgleichrichter 28 ein Vierquadrantensteller in Zweipunktschaltung mit IGBT's als abschaltbare Halbleiterventile 36 vorgesehen.

In einer alternativen Ausführungsform gemäß Fig. 4 ist der Eingangsgleichrichter 28 als Vierquadrantensteller in Dreipunktschaltung ausgeführt, bei dem als abschaltbare Halbleiterventile 36 ebenfalls IGBT's vorgesehen sind.

Gemäß Fig. 5 ist als Wechselrichter 30 ein Vierquadrantensteller in Zweipunktschaltung mit IGBT's als abschaltbare Halbleiterventile 36 vorgesehen.

In einer alternativen Ausführungsform gemäß Fig. 6 ist der Wechselrichter 30 als Vierquadrantensteller in Dreipunktschaltung ausgeführt, bei dem als abschaltbare Halbleiterventile 36 ebenfalls IGBT's vorgesehen sind.

Gemäß Fig. 7 ist als Stellglied 32 eine Zweipunktschaltung vorgesehen, bei der IGBT's als abschaltbare Halbleiterventile 36 vorgesehen sind.

In einer alternativen Ausgestaltung gemäß Fig. 8 ist als Stellglied 32 eine Dreipunktschaltung vorgesehen, bei der ebenfalls IGBT's als abschaltbare Halbleiterventile 36 vorgesehen sind.

Fig. 9 zeigt eine weitere Ausführungsform, bei der das Stellglied 32 als antiparallele Brückenschaltung ausgeführt ist, in der Thyristoren als nicht abschaltbare Halbleiterventile 37 verwendet werden.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 10 ist als Stellglied 32 eine mit Thyristoren als nicht abschaltbare Halbleiterventile 37 aufgebaute Mittelpunktschaltung vorgesehen.

Gemäß Fig. 11 ist die Umrichterschaltung 16 aus drei als Mittelpunktschaltungen ausgeführten Direktumrichterzweigen 162a-c aufgebaut, die ausgangsseitig ein Drehstromsystem mit variabler Frequenz und Amplitude erzeugen. Die Transformatorgruppe 14 weist hierzu einen Mehrwicklungstransformator 140 mit mehreren Sekundärwicklungen 142a d auf, die jeweils mit einer Mittelanzapfung 143a d versehen sind. Die Mittelanzapfungen 143a-c dreier Sekundärwicklungen 142a-c sind dabei in Stern geschaltet. In der Figur ist außerdem zu erkennen, daß die Transformatorgruppe 14 an einem gemeinsamen Kern 144 zwei voneinander getrennte Primärwicklungen 146a, b umfaßt. In diesem Ausführungsbeispiel enthält somit die Eingangsumrichtergruppe einer Antriebsgruppe ebenso wie im Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 zwei Eingangsumrichter. Eine weitere Sekundärwicklung 143d ist an ein Stellglied 32 der Ausgleichsschaltung 20 angeschlossen. Der die Transformatorgruppe 14 bildende Mehrwicklungstransformator 140 enthält somit in diesem Ausführungsbeispiel zwei Primärwicklungen 146a, b und vier geteilte Sekundärwicklungen 142a d, wobei die Anzahl der Primärwicklungen 146a, b der Anzahl der Eingangsumrichter 12a, b entspricht. In diesem Ausführungsbeispiel wird die motorfrequente Blindleistung im Magnetkreis der Transformatorgruppe 14 kompensiert.

Gemäß Fig. 12 sind die drei Direktumrichterzweige 162a-c eingangsseitig parallel geschaltet. Zusätzlich können die einzelnen Direktumrichterzweige 162a-c eingangsseitig mit in der Figur nicht dargestellten Induktivitäten untereinander entkoppelt werden. In diesem Ausführungsbeispiel umfaßt die Transformatorgruppe 14 zwei Zweiwicklungstransformatoren 14a, b mit jeweils getrennten Kernen 144a, b, deren Sekundärwicklungen 142a, b ausgangsseitig parallel geschaltet sind. In diesem Ausführungsbeispiel sind somit in einer Eingangsumrichtergruppe zwei Eingangsumrichter vorgesehen, denen jeweils eine Primärwicklung 146a bzw. b zugeordnet ist. Das Stellglied 32 der Ausgleichsschaltung 20 ist in diesem Fall ebenfalls parallel zu den einzelnen Phasen der Direktumrichterschaltung 16 geschaltet.

Zur weiteren Gewichtsverringerung kann es außerdem vorteilhaft sein, wenn die Primär- und Sekundärwicklungen 146a, b bzw. 142a, b auf einem gemeinsamen Kern angeordnet sind.

Durch den Aufbau der Direktumrichterschaltung gemäß Fig. 11 oder 12 wird ermöglicht, daß die motorfrequente Blindleistung zwischen den einzelnen Phasen des Direktumrichters ausgeglichen wird und sich nicht in die Eingangsumrichter überträgt, wo sie in den primären Gleichspannungszwischenkreisen der Eingangsumrichter zu einem Anstieg der Spannungs- und Stromwelligkeit führen würde.

Die in Fig. 11 und 12 dargestellten Direktumrichterschaltungen 16 sind vorzugsweise aus netzgeführten Direktumrichterzweigen 162a-c aufgebaut. Hierdurch ergibt sich das Problem, daß über die Transformatoren 14 sowohl im Nennbetrieb als auch im Teillastbetrieb sehr viel mittelfrequente Blindleistung übertragen wird. Diese würde sich mit einer entsprechenden Welligkeit im primären Gleichspannungszwischenkreis der Eingangsumrichter äußern. Um die im Nennbetrieb als auch im Teillastbetrieb übertragene Blindleistung und die damit verbundene Wirkleistung im Zwischenkreis der Eingangsumrichter zu verringern, kann gemäß Fig. 13 durch geeignete Wahl des Steuerwinkels  $\alpha$  der Anschnittsteuerung des Wechselumrichters die Blockbreite  $T_b$  der Eingangsspannung  $U_1$  am Transformator an die Amplitude der Ausgangsspannung angepaßt werden. Die Höhe der Impulsblöcke ist dabei begrenzt auf die Gleichspannung  $U_D$  im primären Gleichspannungszwischenkreis der Eingangsumrichter.

Alternativ zur vorstehend erläuterten Blocktaktung kann auch eine Pulsbreitenmodulation vorgesehen sein, bei der die Taktfrequenz größer ist als die Transformationsfrequenz.

Durch die Verringerung der Blindleistung wird die Transformatorscheinleistung verringert. Außerdem verringert sich die Welligkeit im primären Gleichspannungszwischenkreis der Eingangsumrichter. Es treten auch geringere Netzüberschwingungen und im gesamten Antriebssystem geringere Spitzenströme im Drehstromantrieb auf. Dies führt insgesamt zu einer Verringerung der Verluste sowohl in den verwendeten Halbleiterventilen als auch im Transformator, wobei sowohl eine Übersteuerung des Kernmaterials des Transformators vermieden als auch die Verluste im Transformator bei Teilaussteuerung verringert werden. Außerdem können die Verluste im Wechselrichter des Eingangsumrichters deutlich reduziert werden.

#### Patentansprüche

1. Elektrische Schaltungsanordnung zum Versorgen eines elektrischen Antriebssystems, insbesondere eines elektrischen Antriebssystems eines schienengebundenen Triebfahrzeugs, mit einer Mehrzahl von Antriebsgruppen (18), von denen jede zumindest einen Antriebsmotor (M) und eine Eingangsumrichtergruppe (12) umfaßt, und die elektrisch in Reihe zueinander an ein Versorgungsnetz ( $U_N$ ) angeschlossen sind, wobei jeder Eingangsumrichtergruppe (12) zumindest eine Transformatorgruppe (14) zugeordnet ist, die mit ihrer Sekundärseite über einen Antriebsumrichter den Antriebsmotor (M) der Antriebsgruppe (18) speist, und mit einer Ausgleichsschaltung (20), welche zum Herbeiführen einer gleichmäßigen Lastaufteilung auf die Eingangsumrichtergruppen (12) die Eingangsseiten der Antriebsumrichter miteinander elektrisch verknüpft.
2. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, bei der die Ausgleichsschaltung (20) für jeden eingangsseitig an sie angeschlossenen Antriebsumrichter ein Stellglied (32) umfaßt, und bei der die Stellglieder (32) ausgangsseitig parallel zueinander einen gemeinsamen sekundären Gleichspannungszwischenkreis (34) speisen.
3. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 1

oder 2, bei der als Antriebsumrichter eine Direktumrichterschaltung (16) vorgesehen ist.

4. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der jede Eingangsumrichtergruppe (12) zumindest einen Eingangsumrichter (12a, 12b, 24) enthält, der einen Eingangsgleichrichter (28) umfaßt, der über einen primären Gleichspannungszwischenkreis (29) einen Wechselrichter (30) speist, an dessen Ausgang eine rechteckförmige Wechselspannung (U<sub>1</sub>) ansteht, deren Blockbreite (T<sub>p</sub>) und Periodendauer (T) steuerbar ist.

5. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 4, bei der als Eingangsgleichrichter (28) ein Vierquadrantensteller in Zweipunktschaltung mit abschaltbaren Halbleiterventilen (36) vorgesehen ist.

6. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 4, bei der als Eingangsgleichrichter (28) ein Vierquadrantensteller in Dreipunktschaltung mit abschaltbaren Halbleiterventilen (36) vorgesehen ist.

7. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, bei der als Wechselrichter (30) ein Vierquadrantensteller in Zweipunktschaltung mit abschaltbaren Halbleiterventilen (36) vorgesehen ist.

8. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, bei der als Wechselrichter (30) ein Vierquadrantensteller in Dreipunktschaltung mit abschaltbaren Halbleiterventilen (36) vorgesehen ist.

9. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 8, mit einem in den primären Gleichspannungszwischenkreis (29) jeweils geschalteten Saugkreis (31).

10. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der jede Eingangsumrichtergruppe (12) eine Mehrzahl von eingangsseitig in Reihe geschalteten Eingangsumrichtern (12a, 12b) umfaßt, die jeweils ausgangssseitig elektrisch entkoppelt an eine Primärwicklung (146a, b) einer Transformatorgruppe (14) angeschlossen sind.

11. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 10, bei der die Transformatorgruppe (14) eine der Anzahl der Eingangsumrichter (12a, b) entsprechende Anzahl von Transformatoren (14a, b-d) umfaßt, die sekundärseitig parallel geschaltet sind.

12. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 11, bei der als Transformatoren (14a, b) Zweiwicklungstransformatoren vorgesehen sind.

13. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 10, bei der die Transformatorgruppe (14) einen Mehrwicklungstransformator (140) mit geteilten Sekundärwicklungen (142a-d) umfaßt.

14. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 13, bei der die Direktumrichterschaltung (16) für jede Phase einen Direktumrichterzweig (162a-c) umfaßt, der als Mittelpunktschaltung ausgeführt ist.

15. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 14, bei der jedem Direktumrichterzweig (162a-c) eine geteilte Sekundärwicklung (142a-c) der Transformatorgruppe (14) zugeordnet ist, deren Mittelanzapfung (143a, c) in Stern geschaltet sind.

16. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 14, bei der die Direktumrichterzweige (162a-c) eingangsseitig parallel geschaltet sind.

17. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 16, bei der in der Ausgleichsschaltung (20) als Stellglied (32) ein Vierquadrantensteller vorgesehen ist.

18. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch

17, bei der als Stellglied (32) ein Vierquadrantensteller in Zweipunktschaltung mit abschaltbaren Halbleiterventilen (36) vorgesehen ist.

19. Elektrische Schaltungsanordnung nach Anspruch 17, bei der als Stellglied (32) ein Vierquadrantensteller in Dreipunktschaltung mit abschaltbaren Halbleiterventilen (36) vorgesehen ist.

20. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 16, bei der in der Ausgleichsschaltung (20) als Stellglied (32) eine antiparallele Brückenschaltung vorgesehen ist.

21. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 16, bei der in der Ausgleichsschaltung (20) als Stellglied (32) eine Mittelpunktschaltung vorgesehen ist.

22. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 21, bei der im sekundären Gleichspannungszwischenkreis (34) der Ausgleichsschaltung (20) ein Saugkreis (35) angeordnet ist.

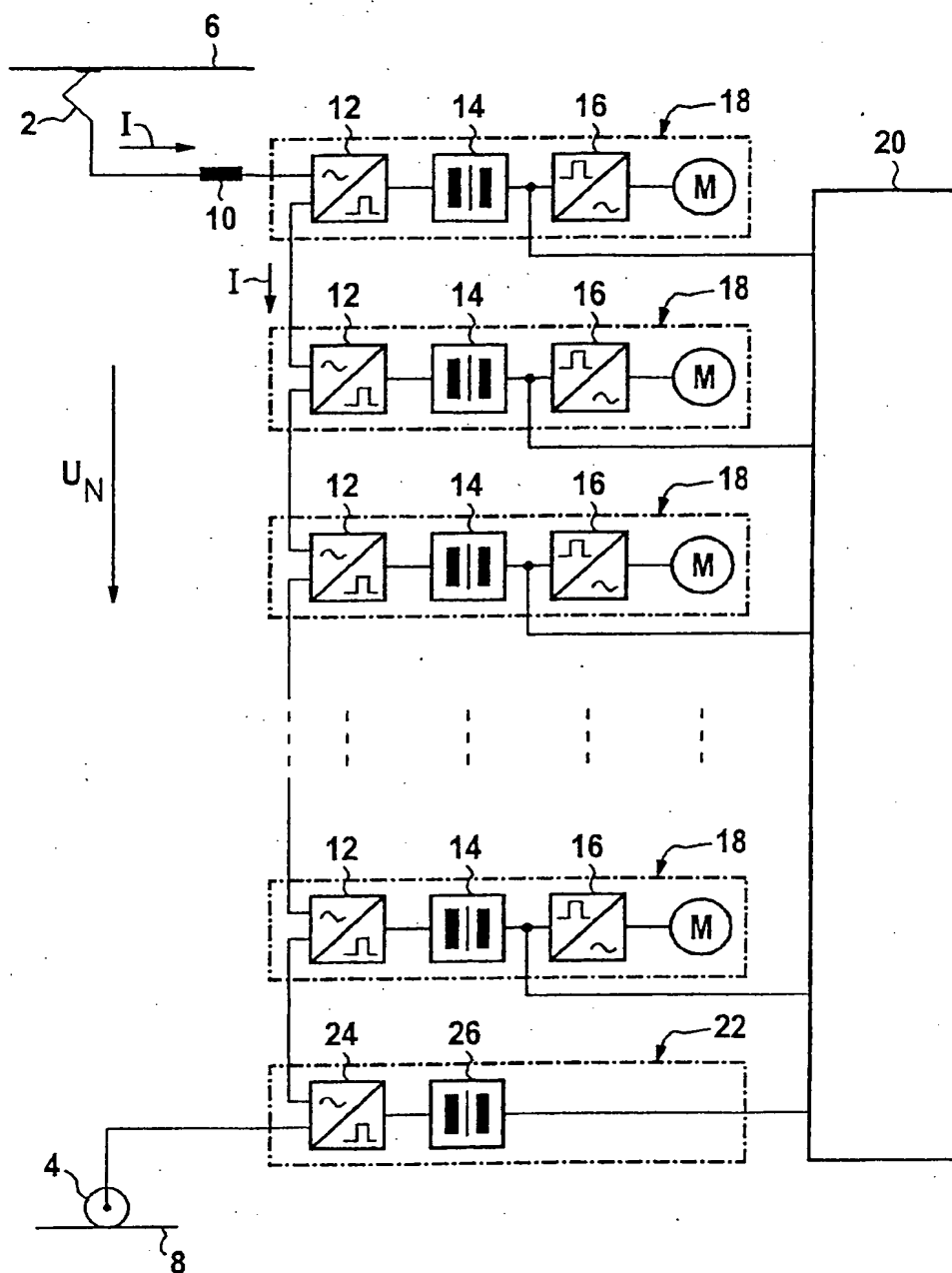
23. Elektrische Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der ein zusätzlicher Eingangsumrichter (24) einer Redundanzschaltung (22) an den sekundären Gleichspannungszwischenkreis (34) der Ausgleichsschaltung (20) angeschlossen ist.

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---





**Fig. 1**

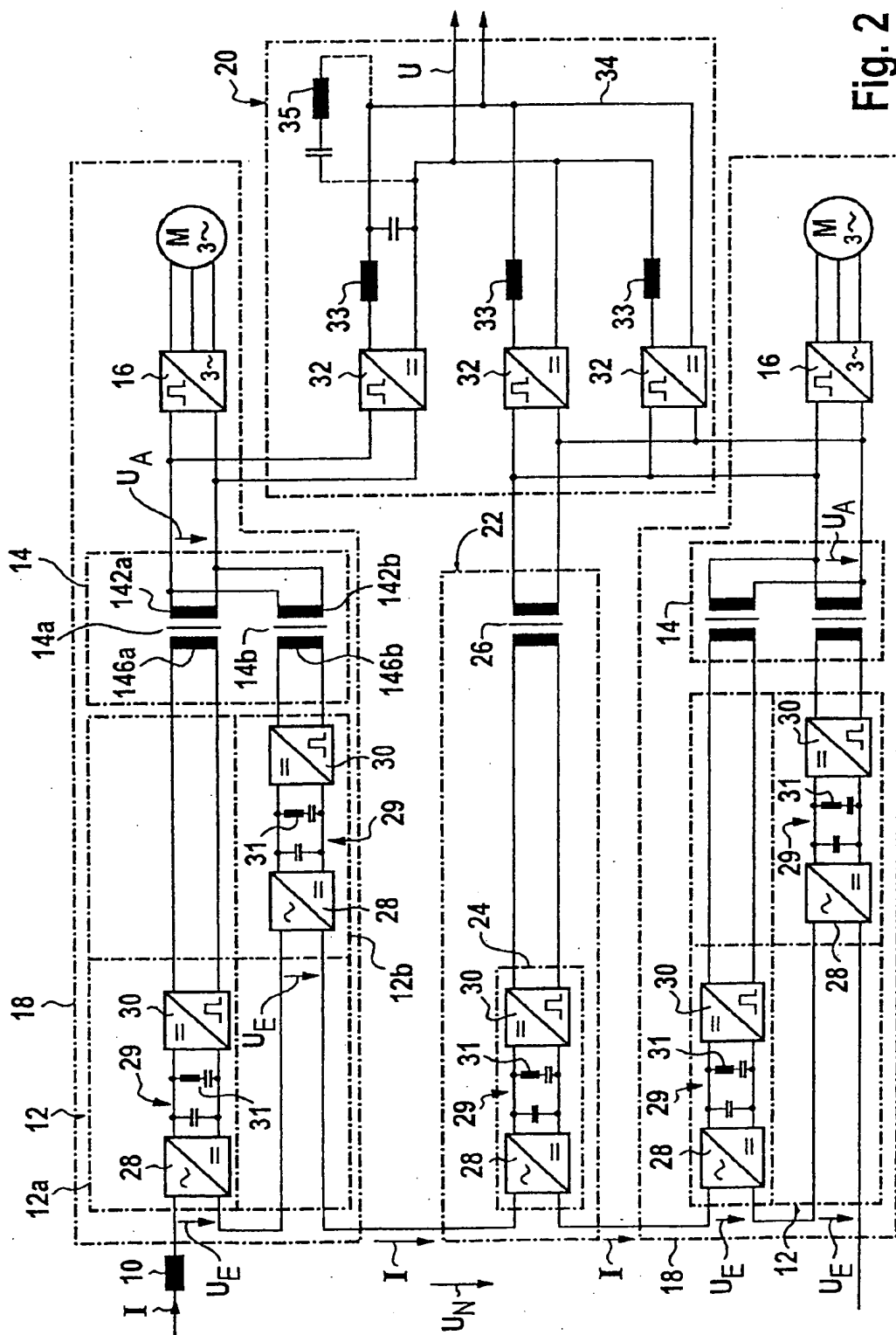


Fig. 2

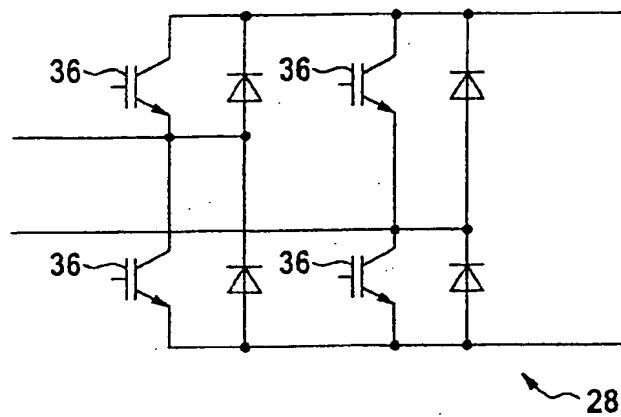


Fig. 3

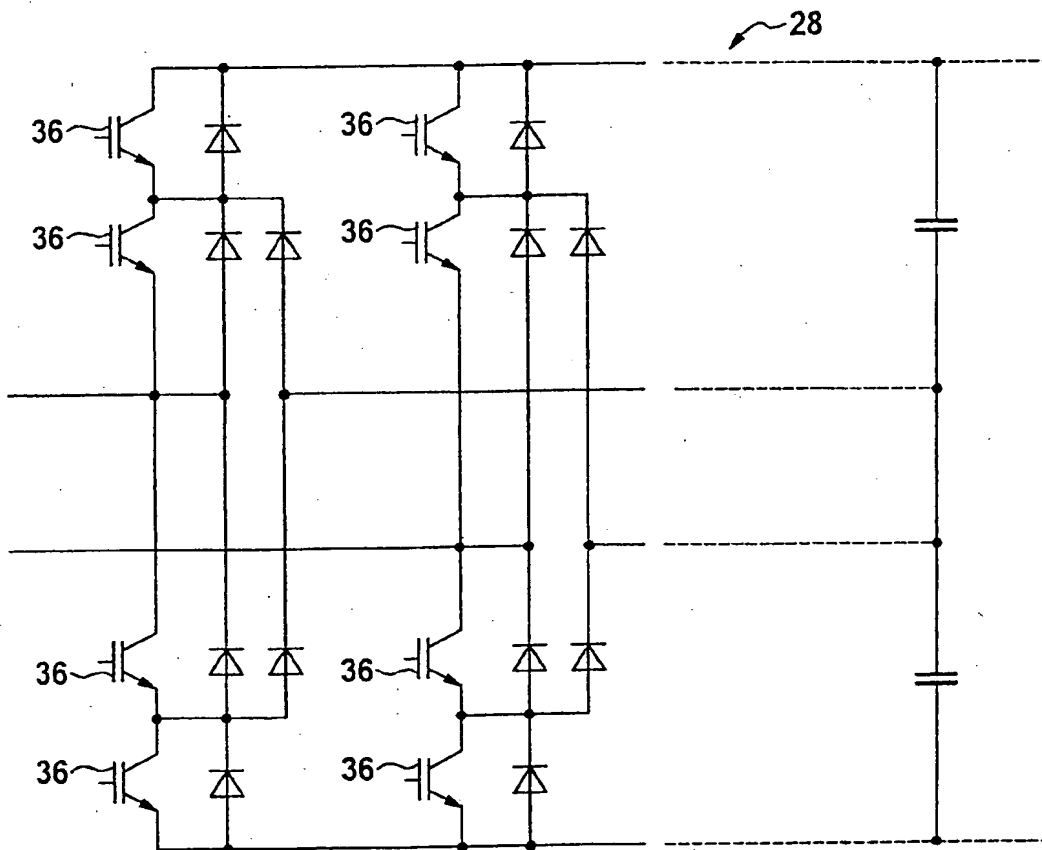


Fig. 4

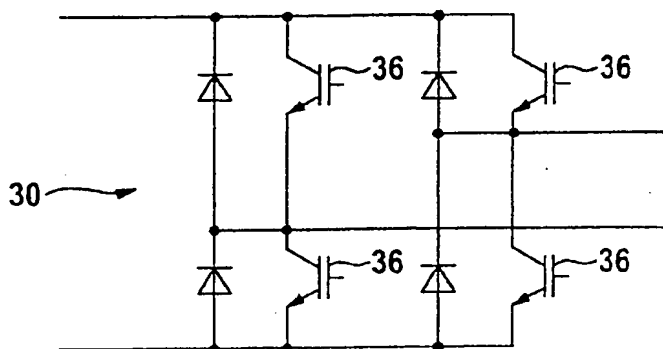


Fig. 5

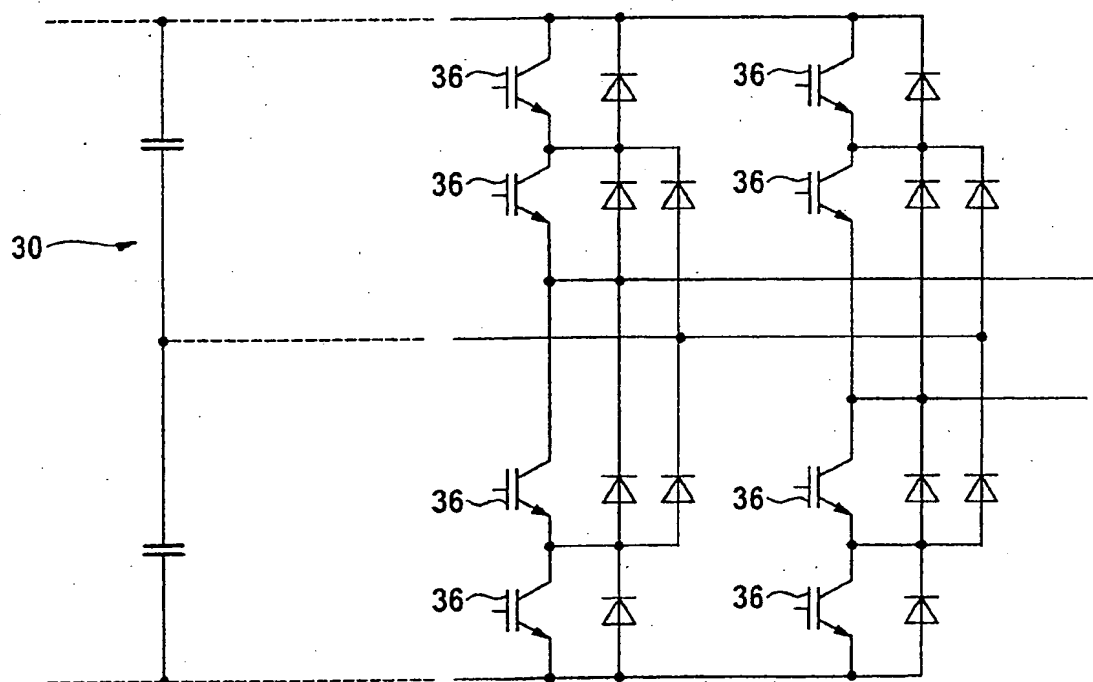


Fig. 6

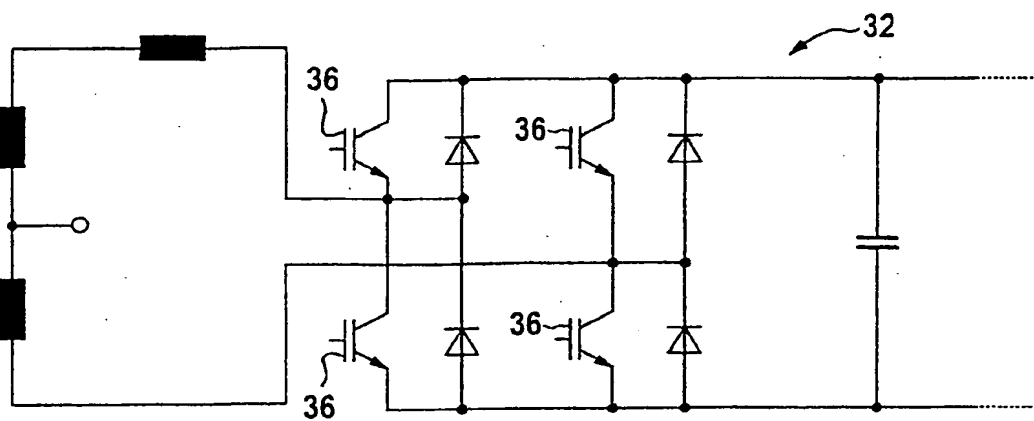


Fig. 7

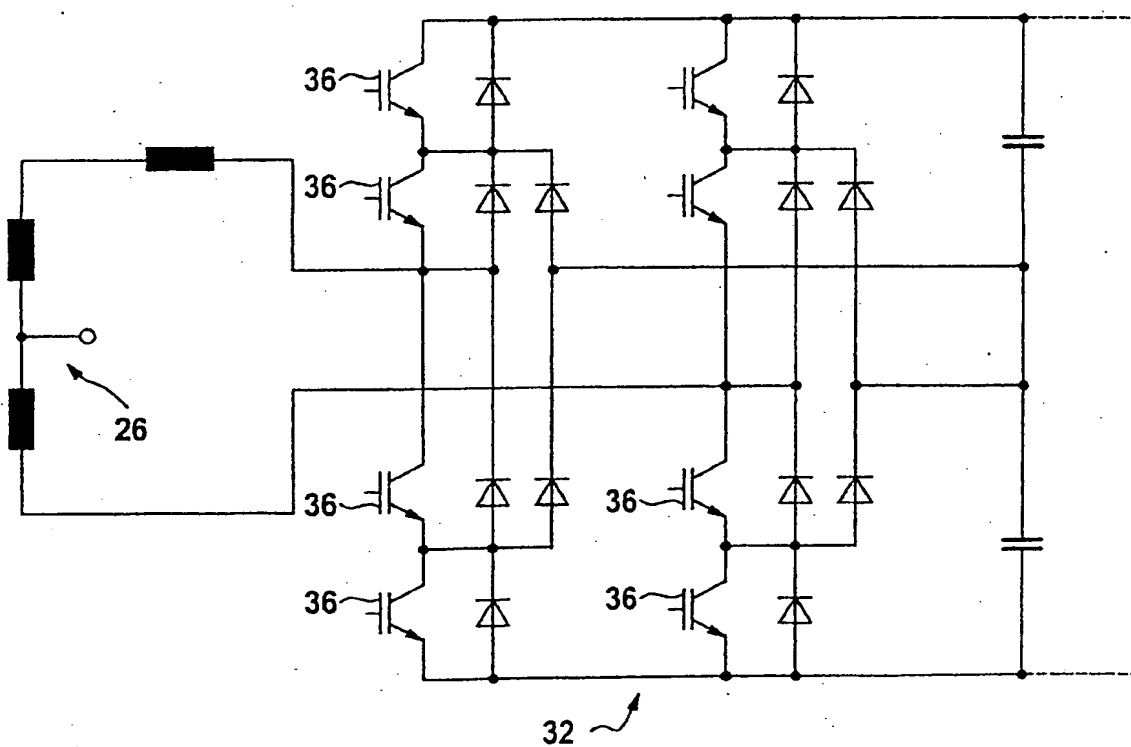


Fig. 8

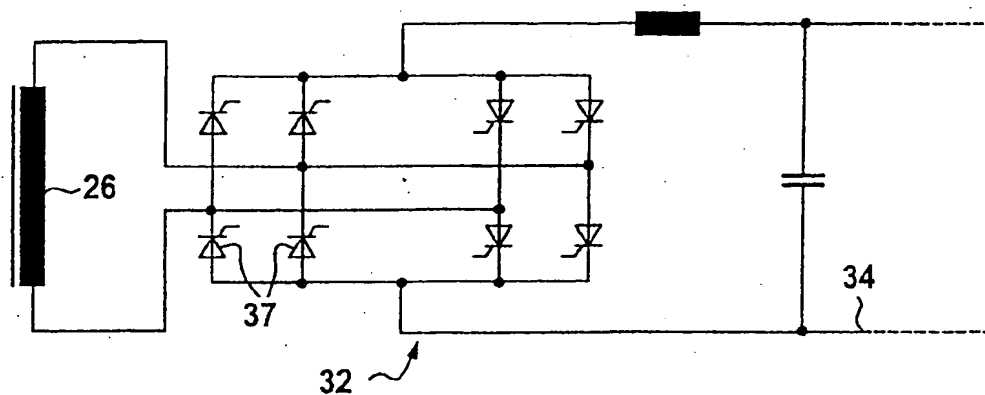


Fig. 9

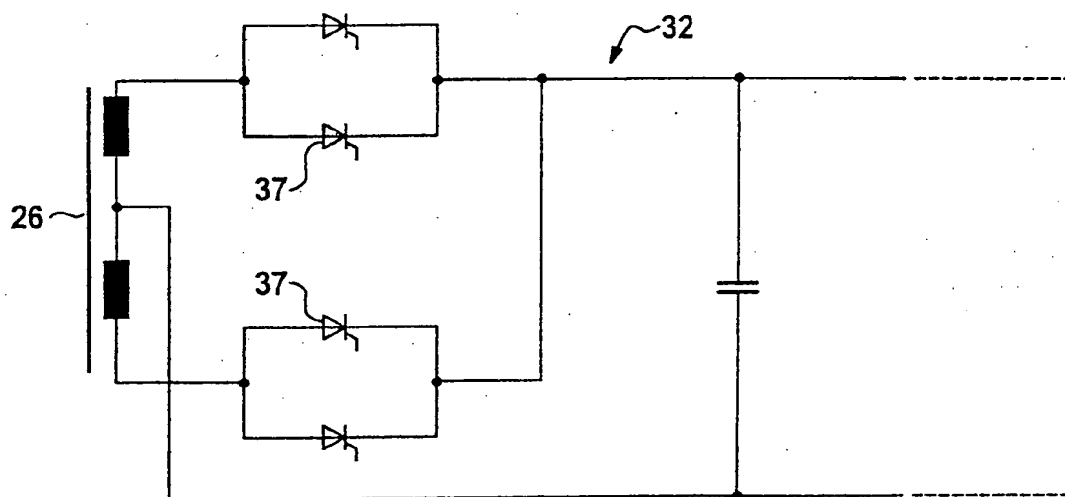


Fig. 10

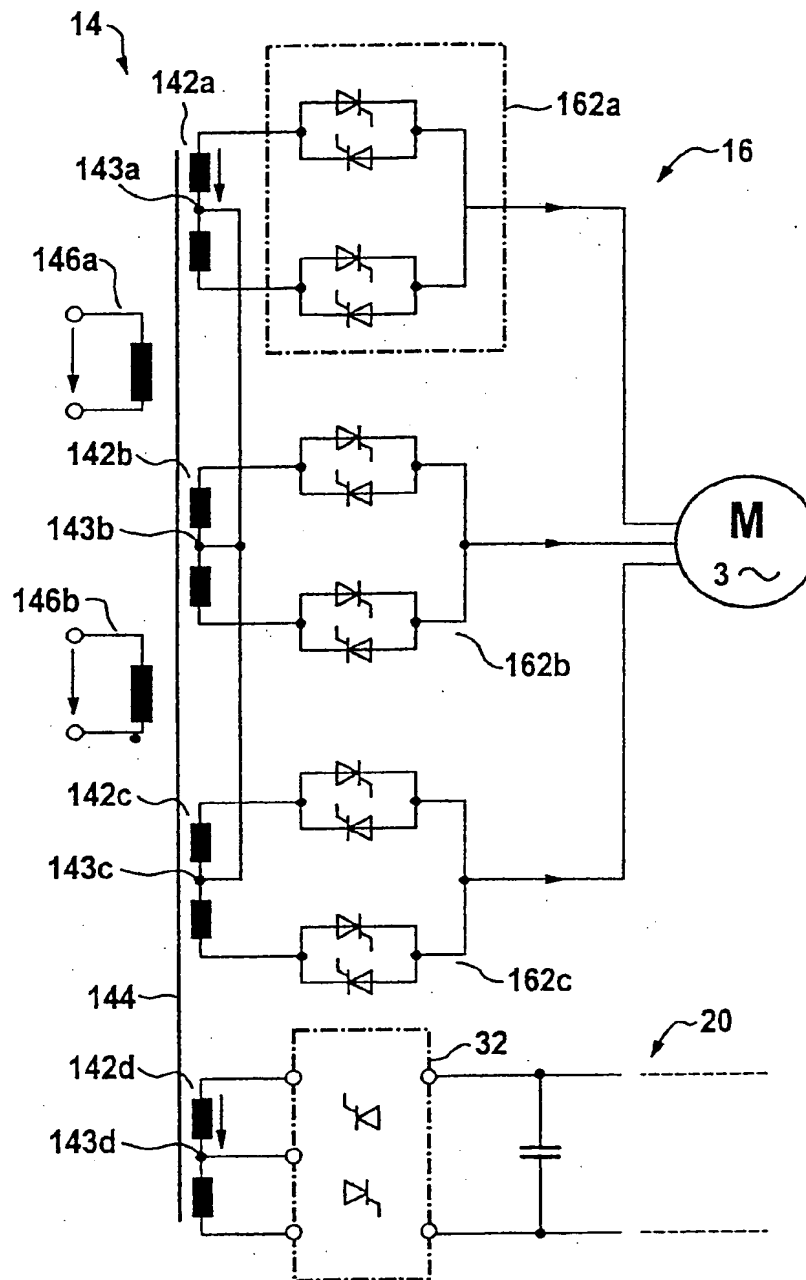


Fig. 11

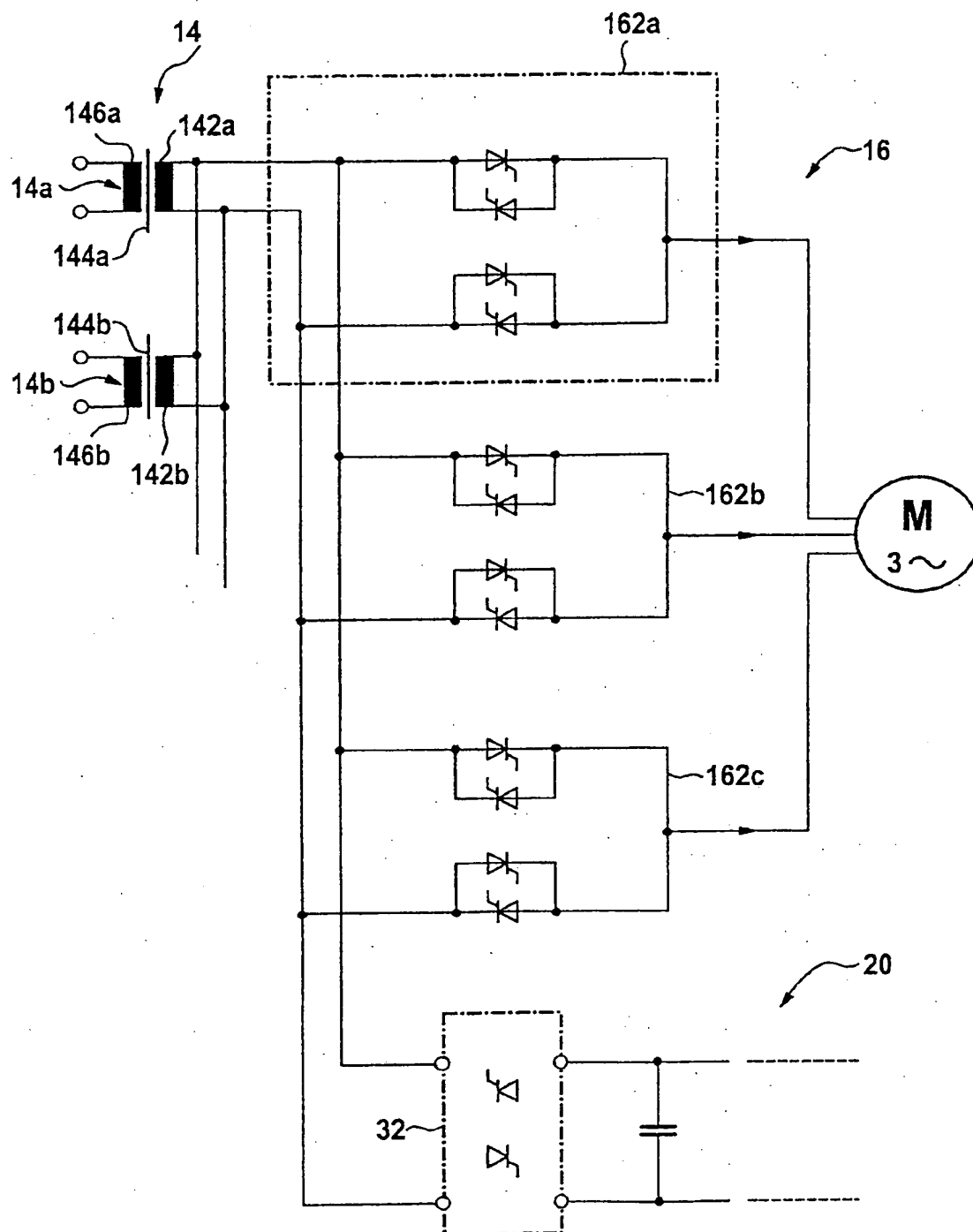


Fig. 12



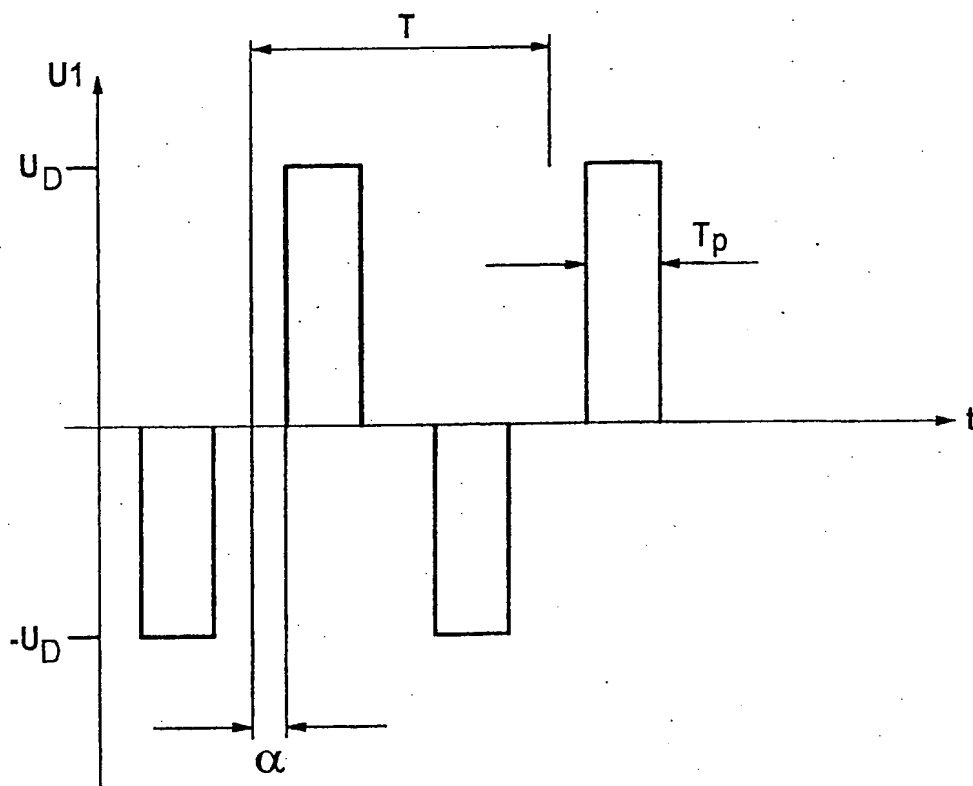


Fig 13